

Pengaruh Suhu Terhadap Kestimbangan Ekstraksi Tembaga dalam Air dengan LIX 84-I dalam Kerosin

Panut Mulyono, Sutijan, dan Muhammad Ali Rosyid

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Jl. Grafika No. 2, Kampus UGM, Yogyakarta 55281

Tel. (0274) 902171, Fax. (0274) 902170, E-mail: pmulyono@chemeng.ugm.ac.id

Abstract

The effect of temperature on the extraction constant in the extraction of copper (Cu) from aqueous solution with commercial extractant of LIX 84-I in kerosene has been studied.

The experiments were carried out using a three necked flask mounted in a waterbath. Hundred cubic centimeters (100 cm³) of aqueous solution of Cu of fixed concentration was mixed with 100 cm³ of 1:1 LIX 84-I-kerosene solution in a three necked flask. This mixture was stirred for a fixed time interval in a fixed temperature and then was equilibrated for a certain minutes to attain the extraction equilibrium. After the aqueous phase was separated from the kerosene phase, then a sample was pipetted from the aqueous phase. The Cu concentration of the sample was determined using Atomic Absorption Spectrophotometer. The content of Cu in the kerosene phase was determined by its mass balance.

The higher the extraction temperature, the lower the value of the extraction constants. The equation shows the effect of temperature on the extraction constant for the extraction of Cu from water using LIX 84-I in kerosene is:

$$\ln K_{eks} = \frac{2,556.1}{T} - 11.67$$

with the relative mean error of 5.1%. The values of ΔH and ΔS for this extraction are -5,078.97 cal/gmol and -23.18 cal/gmol/K, respectively.

Keywords: temperature, equilibrium, extraction, copper, LIX 84-I.

1. Pendahuluan

Tembaga (Cu) merupakan logam berat yang bila terbuang ke lingkungan merupakan zat pencemar yang berbahaya. Logam berat didefinisikan sebagai logam-logam yang mempunyai berat atom lebih besar dari 23 (berat atom natrium). Pada kadar tertentu, logam berat di lingkungan dapat mematikan plangton dan ikan, meracuni ternak, dan dapat terakumulasi pada ikan, kerang dan daging hewan ternak yang tentunya bila ikan atau daging tersebut dikonsumsi manusia akan berpengaruh jelek bagi kesehatan manusia. Sumber utama logam-logam tersebut adalah industri pelapisan logam, penambangan posfat dan boksit, pembuatan gas klor, pembuatan baterai, dan industri penyamakan kulit. Karena logam

berat itu berbahaya bagi lingkungan, maka limbah cair dari industri yang mengandung logam-logam berbahaya itu tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan. Ambang batas kadar Cu dalam air minum menurut *World Health Organization* (WHO) *guideline* adalah 1-2 mg/L (Drum dkk., 2001). Menurut baku mutu air di Wilayah Daerah Khusus Ibu Kota Jakarta yang dituangkan dalam Keputusan Gubernur Kepala Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 582 Tahun 1995, kadar maksimum tembaga yang diijinkan dalam air minum adalah 1 mg/L. Logam berat dalam larutan yang encer sulit untuk dipungut/dibersihkan, sehingga diperlukan suatu teknik pemisahan dengan efisiensi yang tinggi. Teknik pemisahan ini antara lain adalah ekstraksi. Dalam proses

ekstraksi cair-cair, hal yang sangat penting adalah tentang kesetimbangan. Maka dari itu, penelitian ini mempelajari kesetimbangan ekstraksi Cu dalam air dengan zat pengeksrak *hydroxyoxime* yang secara komersial dinamakan LIX 84-I (*2-hydroxy-5-nonylacetophenone oxime*). LIX 84-I merupakan merek dagang dari sebuah zat pengeksrak komersial produksi *Cognis Corporation* dengan struktur kimia seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 a) (Ban dkk., 2001). Sejauh ini, peneliti belum menemukan data tentang kelarutan jenuh LIX 84-I dalam kerosin. Namun, berdasarkan sifat-sifat dari kedua zat tersebut, diperkirakan LIX 84-I larut sempurna dalam kerosin.

Penelitian fundamental tentang kesetimbangan dan kinetika pada ekstraksi cair-cair telah banyak diteliti dan dibahas pada beberapa literatur (Hanson, 1971 dan Komasa dkk., 1980a). Rachmawati (2002) telah mempelajari kesetimbangan ekstraksi Cu dalam air dengan TBP. Dalam penelitiannya, mereka menggunakan kerosin sebagai pelarut TBP. Dua hal yang dipelajari dalam penelitian di atas adalah distribusi koefisien dan konstanta kesetimbangan ekstraksi. Kedua peneliti di atas tidak mengembangkan model ekstraksi secara rinci.

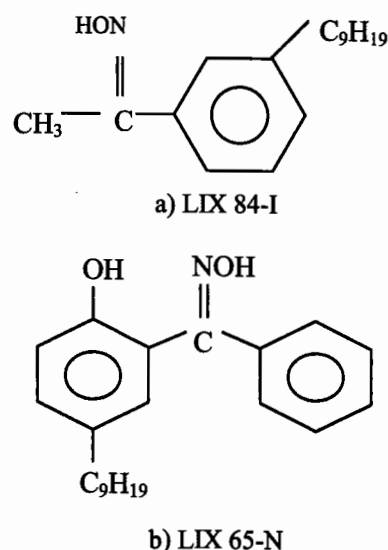
Kesetimbangan dan kinetika ekstraksi heterogen sudah dapat diukur dan juga sudah banyak disajikan persamaan-persamaan atau rumus-rumus empirisnya. Akan tetapi sebenarnya proses kimiawi dari ekstraksi pada level konsentrasi komersial cukup rumit. Pada bagian fasa organik, diduga terjadi agregasi molekul-molekul *hydroxyoxime* menembus ikatan molekul-molekul hidrogen dan interaksi antara molekul-molekul *oxime* dengan pelarutnya. Sedangkan pada fasa logam-air, logam divalennya tidak sepenuhnya terdisosiasi sempurna (Komasawa dkk., 1980b).

Komasawa dkk (1980b) telah mengembangkan sebuah model kesetimbangan untuk ekstraksi Cu dari media sulfat dengan LIX 65-N (*2-hydroxy-5-nonylbenzophenon oxime*) yang dilarutkan pada benzen atau toluen. Struktur kimia LIX 65-N ditunjukkan pada Gambar 1 b) (Nakashio, 1993). Dalam penelitian ini, dibuat model kesetimbangan ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I yang dilarutkan dalam kerosin berdasarkan model

Komasawa dkk. (1980b) di atas. Konstanta kesetimbangan yang terdapat pada model lalu dihitung berdasarkan data percobaan.

Ekstraksi unsur logam dalam air dengan zat pengeksrak *hydroxyoxime* dapat berjalan dengan baik pada kondisi asam, sehingga untuk larutan umpan yang berupa logam dalam air perlu diasamkan. Dalam penelitiannya, Tani dkk. (1998) mengasamkan umpannya dengan penambahan HCl sedangkan Tanigaki dkk. (1994) menggunakan H_2SO_4 untuk pengasaman umpan. Sementara itu, Mulyono dkk. (2004) menggunakan HNO_3 untuk pengasaman umpan pada ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin.

Tetapan kesetimbangan pada ekstraksi dipengaruhi oleh suhu. Namun demikian belum ada peneliti yang melaporkan hasil penelitiannya tentang pengaruh suhu pada ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin. Mulyono dkk. (2004) telah melaporkan hasil penelitian ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin yang dijalankan pada suhu kamar. Penelitian ini mempelajari pengaruh suhu terhadap kesetimbangan pada ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin.



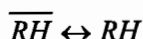
Gambar 1. Struktur kimia LIX 84-I dan LIX 65-N.

2. Fundamental

Proses ekstraksi reaktif logam Cu dalam air dengan LIX 84-I yang dilarutkan dalam kerosin

dapat dilukiskan pada Gambar 2. Pada persamaan-persamaan di bawah ini, RH melambangkan *oxime* atau LIX 84-I. Pada prinsipnya, perpindahan Cu dari fasa air ke fasa kerosin mengikuti langkah-langkah sebagai berikut (Komasawa dkk, 1980b):

1. Distribusi *oxime* (RH) dari fasa kerosin ke fasa air.



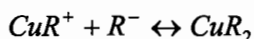
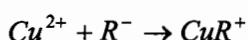
$$K_{dist} = [RH]/[\overline{RH}] \quad (1)$$

1. Disosiasi molekul *oxime* pada fasa air.



$$K_{diso} = [R^-][H^+]/[RH] \quad (2)$$

2. Pembentukan *chelate* secara bertahap pada fasa air.



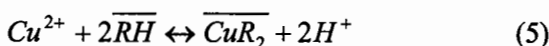
$$K_{pemb} = [CuR_2]/[Cu^{2+}][R^-]^2 \quad (3)$$

3. Distribusi *chelate* netral dari fasa air ke fasa kerosin.



$$K_{chel} = [\overline{CuR_2}]/[CuR_2] \quad (4)$$

Persamaan (1) sampai dengan (4) dapat digabung sehingga diperoleh kesetimbangan keseluruhan sebagai berikut:



dengan:

$$K_{eks} = [\overline{CuR_2}][H^+]^2/[Cu^{2+}][\overline{RH}]^2 \quad (6)$$

atau

$$K_{eks} = K_{dist}^2 \cdot K_{diso}^2 \cdot K_{pemb} \cdot K_{chel} \quad (7)$$

Selanjutnya didefinisikan koefisien distribusi (D) sebagai perbandingan konsentrasi CuR_2 di fasa kerosin dengan Cu^{2+} di fasa air pada keadaan setimbang:

$$D = [\overline{CuR_2}]/[Cu^{2+}] \quad (8)$$

Jika Persamaan (8) disubstitusikan ke (6) diperoleh:

$$K_{eks} = D \frac{[H^+]^2}{[\overline{RH}]^2} \quad (9)$$

Persamaan (9) dapat diubah dalam bentuk logaritma seperti ditunjukkan pada persamaan (10).

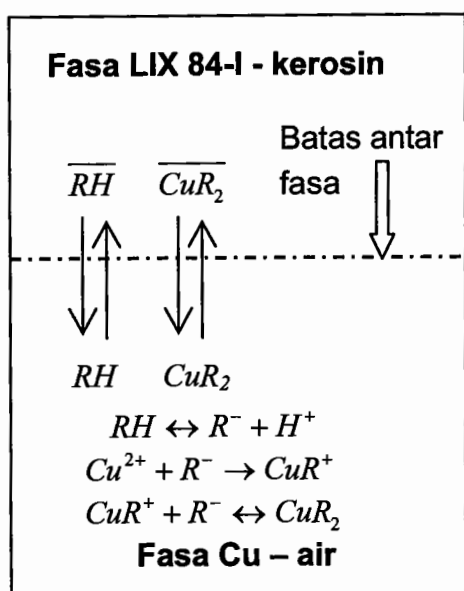
$$\log D = \log K_{eks} + 2 \log \left(\frac{[\overline{RH}]}{[H^+]} \right) \quad (10)$$

Dari percobaan laboratorium diperoleh data nilai D , $[\overline{RH}]$, dan $[H^+]$. Selanjutnya jika dibuat grafik hubungan $\log D$ dengan $\log ([\overline{RH}]/[H^+])$, diperoleh slope (= 2) dan intersep (= $\log K_{eks}$).

Nilai K_{eks} dipengaruhi oleh suhu, sehingga pada penelitian ini dicari sebuah persamaan yang menggambarkan pengaruh suhu terhadap K_{eks} pada ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I yang dilarutkan dalam kerosin. Hubungan antara nilai konstanta kesetimbangan ekstraksi (K_{eks}) dengan suhu (T) dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut (Tamada and King, 1990):

$$\ln K_{eks} = -\frac{\Delta H}{RT} + \frac{\Delta S}{R} \quad (11)$$

Dari data percobaan hubungan antara K_{eks} dengan T , jika dibuat grafik hubungan antara $\ln K_{eks}$ dengan $1/T$ akan diperoleh nilai $-\Delta H/R$ dan $\Delta S/R$. Dalam hal ini, $-\Delta H/R$ merupakan tangen arah dan $\Delta S/R$ merupakan intersep dari grafik tersebut.



Gambar 2. Proses ekstraksi reaktif Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin.

3. Metodologi

Bahan

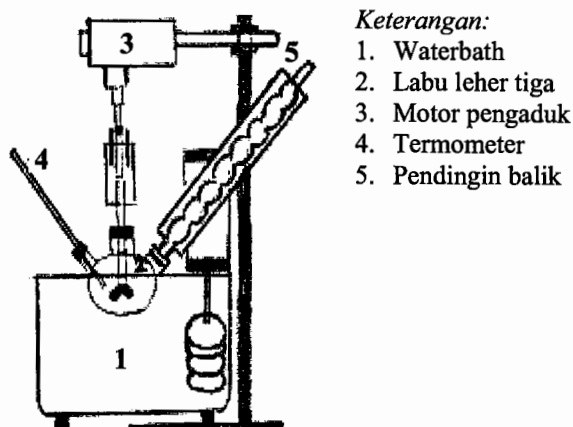
Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, LIX 84-I, HNO_3 , kerosin, akuades, dan larutan standar untuk Cu.

Alat

Alat-alat yang digunakan adalah pipet ukur 25 ml dan 50 ml, labu leher tiga, pendingin balik, termometer, *waterbath*, karet penyedot, statif, alat pengukur pH (*digital pH meter*), dan instrumen pengukur kadar Cu yaitu *Atomic Absorption Spectrophotometer* (AAS). Susunan alat penelitian untuk percobaan pada berbagai suhu ditunjukkan pada Gambar 3.

Prosedur pelaksanaan

Prosedur kerja pada penelitian kesetimbangan Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin diuraikan di bawah ini. Pertama-tama disiapkan larutan HNO_3 dengan pH 1, 2, 3, 4 dan 5. Kemudian disiapkan sampel umpan larutan $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ dengan konsentrasi dan pH tertentu dengan cara melarutkan kristal $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ pada larutan HNO_3 dan aquades. Tiap larutan sampel umpan diukur terlebih dahulu pH dan kadar logam



Gambar 3. Susunan alat penelitian.

Cu-nya. Setelah itu, disiapkan campuran LIX 84-I-kerosin dengan perbandingan volume 1:1. Rangkaian alat penelitian diset seperti pada Gambar 3. Suhu air dalam *waterbath* diset sesuai dengan suhu percobaan yang diinginkan. Kemudian dimasukkan 100 ml sampel umpan dengan pH dan konsentrasi Cu tertentu dan 100 ml campuran LIX 84-I-kerosin (dengan perbandingan volume LIX 84-I/volume kerosin 1:1) ke dalam labu leher tiga. Campuran larutan ini diaduk selama 15 menit dan kemudian dibiarkan terjadi proses pemisahan selama 5 menit sehingga terbentuk 2 lapisan, yaitu lapisan fasa *aqueous/air* di bagian bawah dan lapisan fasa organik/kerosin di bagian atas. Fasa air diambil sebagai hasil bawah ekstraksi atau rafinat lalu diukur pHnya. Fasa air hasil ekstraksi ini diencerkan untuk dianalisis kandungan logam Cu-nya dengan menggunakan AAS. Kadar Cu pada fasa organik dihitung dengan neraca massa. Dalam penelitian ini dipelajari variasi konsentrasi Cu dalam umpan pada berbagai suhu operasi.

Untuk mempelajari pengaruh suhu pada nilai tetapan kesetimbangan ekstraksi, maka dilakukan percobaan seperti yang diterangkan di atas, masing-masing pada suhu yang berbeda.

Analisis hasil

Dalam penelitian ini, hasil yang dianalisis adalah kadar Cu dalam fasa air, baik pada awal

maupun setelah terjadi kesetimbangan. Analisis kadar Cu dalam fasa air dilakukan dengan AAS. Kadar Cu di fasa kerosin dilakukan dengan neraca massa. Dari kadar Cu di fasa air dan di fasa kerosin lalu dihitung nilai D dengan Persamaan (8). Kemudian, nilai K_{eks} pada suhu yang berbeda-beda ditentukan secara grafis berdasarkan pada Persamaan (10).

Dari hasil perhitungan nilai K_{eks} pada masing-masing suhu, lalu dibuat grafik hubungan antara $\ln K_{eks}$ dengan $1/T$ berdasarkan pada Persamaan (11) untuk memperoleh nilai ΔH dan ΔS reaksi tersebut.

4. Hasil dan Pembahasan

Variasi suhu pada berbagai konsentrasi umpan

Untuk mengetahui hubungan antara suhu dan koefisien distribusi (D) pada berbagai konsentrasi umpan, dilakukan dengan mengubah-ubah suhu pada berbagai konsentrasi umpan. Suhu-suhu percobaan yang dipilih adalah 283, 293, 300, dan 308 K. Konsentrasi umpan (Cu_o) yang dicoba adalah 110,4, 395,2, 517,0, dan 662,0 ppm. Pada penelitian ini digunakan pH larutan dan konsentrasi LIX 84-I dalam kerosin yang konstan, yaitu pada pH 4 dan konsentrasi LIX 84-I dalam kerosin 5%. Pemilihan ini berdasarkan pada kenyataan bahwa nilai koefisien distribusi cukup tinggi pada kondisi tersebut.

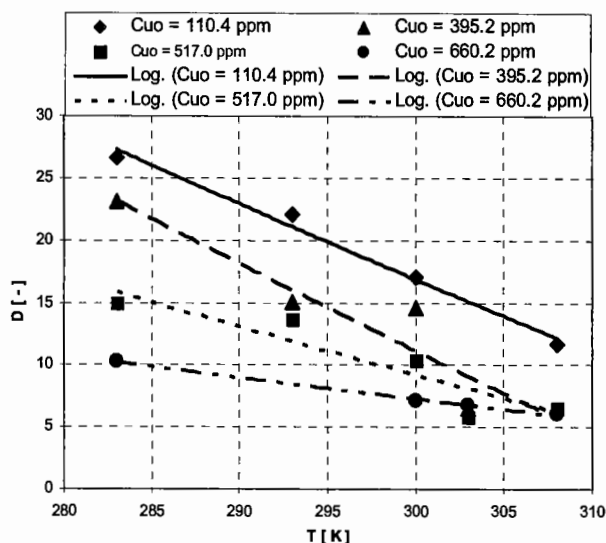
Hasil perhitungan nilai D sebagai fungsi suhu untuk percobaan dengan konsentrasi umpan 110,4 ppm ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai D yang tercantum pada Tabel 1 bersama-sama dengan hasil percobaan dengan konsentrasi umpan lainnya lalu disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa makin tinggi konsentrasi Cu pada umpan maka nilai koefisien distribusinya makin kecil untuk ekstraksi pada suhu yang sama. Hal ini karena walaupun makin tinggi konsentrasi Cu dalam umpan menyebabkan makin banyak jumlah Cu yang dapat diekstrak ke fasa kerosin tetapi jumlah Cu yang tersisa di fasa air juga makin banyak.

Tabel 1. Nilai D sebagai fungsi suhu untuk percobaan dengan konsentrasi umpan 110,4 ppm.

T (K)	V_o (ml)	Cu_A (ppm)	V_A (ml)	V_K (ml)	Cu_K (ppm)	D (-)
283	100	4,00	100	100	106,4	26,6
293	100	4,78	100	100	104,3	22,1
300	100	6,10	100	100	195,1	17,1
308	100	8,75	100	100	101,7	11,6

Pada Gambar 4 juga dapat dilihat bahwa makin tinggi suhu menyebabkan turunnya nilai koefisien distribusi pada percobaan menggunakan kadar Cu dalam umpan yang sama. Hal ini karena makin tinggi suhu menyebabkan mobilitas Cu dalam umpan menjadi makin tinggi sehingga mempersulit perpindahan massa Cu dari fasa air ke fasa kerosin.



Gambar 4. Hubungan D dengan T pada berbagai konsentrasi umpan.

Variasi konsentrasi umpan pada berbagai suhu

Walaupun nilai D pada berbagai konsentrasi umpan pada suhu tertentu dapat dibaca dari Gambar 4, namun demikian untuk lebih memperjelas hubungan antara nilai D sebagai fungsi dari konsentrasi umpan pada berbagai suhu, maka dilakukan percobaan pada suhu tertentu dengan mengubah-ubah konsentrasinya.

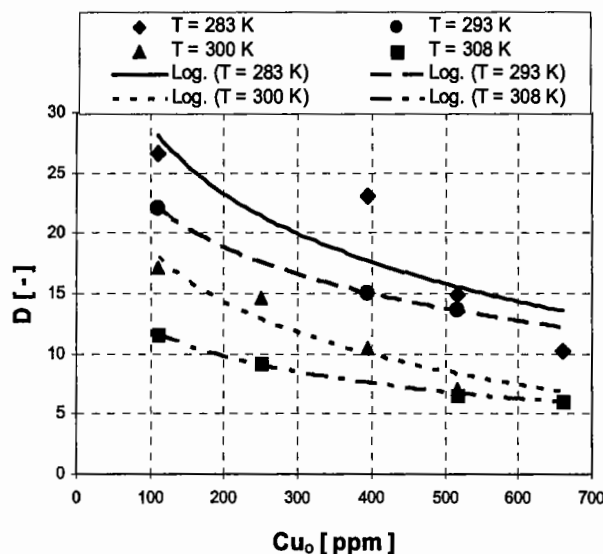
Hasil perhitungan nilai D sebagai fungsi konsentrasi umpan untuk percobaan pada suhu 283

K ditunjukkan pada Tabel 2. Nilai D yang tercantum pada Tabel 2 bersama-sama dengan hasil percobaan pada suhu lainnya lalu disajikan dalam bentuk grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 2. Nilai D sebagai fungsi konsentrasi umpan untuk percobaan pada suhu 283K.

Cu_o (ppm)	V_o (ml)	Cu_A (ppm)	V_A (ml)	V_K (ml)	Cu_K (ppm)	D (-)
110,4	100	4,00	100	100	106,4	26,6
395,2	100	16,38	100	100	378,8	23,1
517,0	100	32,53	100	100	484,5	14,9
660,2	100	58,60	100	100	601,6	10,3

Jika dibandingkan dengan Gambar 4, terlihat bahwa Gambar 5 menunjukkan kesesuaian dengan Gambar 4. Pada konsentrasi umpan yang sama, makin tinggi suhu makin kecil nilai D nya dan pada suhu yang sama, maka makin tinggi konsentrasi umpan menyebabkan turunnya nilai D .

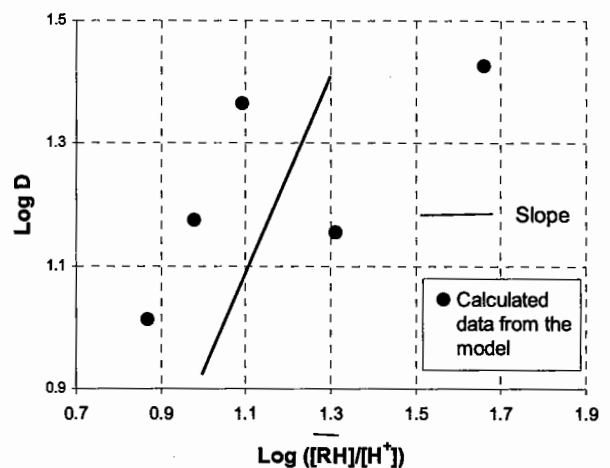


Gambar 5. Hubungan D dengan Cu_o pada berbagai suhu percobaan.

Model kesetimbangan

Dari data percobaan yang diperoleh pada berbagai suhu dan konsentrasi umpan, lalu dihitung nilai D , $[RH]$ dan $[H^+]$ yang selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai K_{eks} secara

grafis berdasarkan Persamaan (10). Contoh penentuan nilai K_{eks} untuk percobaan pada suhu 283 K ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa hubungan antara $\log D$ dengan $\log ([RH]/[H^+])$ cenderung naik secara linier dengan bertambahnya nilai $\log ([RH]/[H^+])$. Dari Gambar 6 diperoleh nilai K_{eks} 0,0722. Nilai K_{eks} untuk percobaan pada suhu-suhu lainnya dicari dengan cara yang sama dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

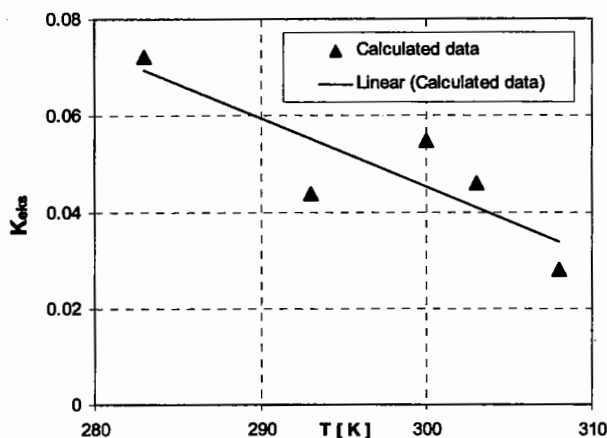


Gambar 6. Log D versus $\log ([RH]/[H^+])$ untuk percobaan pada suhu 283 K.

Tabel 3. Nilai K_{eks} pada berbagai suhu untuk ekstraksi Cu dalam air dengan LIX 84-I dalam kerosin.

Suhu (K)	K_{eks} (-)
283	0,0722
293	0,0438
300	0,0549
308	0,0278

Dari data pada Tabel 3 lalu dibuat grafik hubungan antara suhu dengan K_{eks} seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Dari Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi suhu ekstraksi (T) maka semakin rendah konstanta kesetimbangannya (K_{eks}). Hal ini sesuai dengan kenyataan bahwa makin tinggi suhu maka nilai koefisien distribusinya (D) makin kecil dan menurut Persamaan (9) nilai K_{eks} berbanding lurus dengan nilai D . Jadi, jika nilai D makin kecil maka nilai K_{eks} nya juga makin kecil.

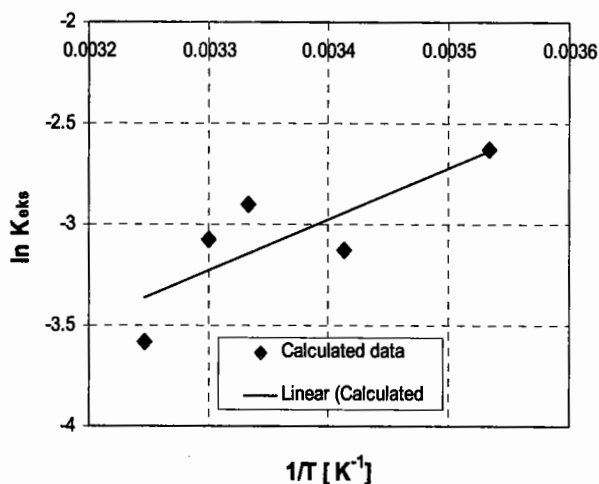


Gambar 7. Grafik hubungan antara konstanta kesetimbangan (K_{eks}) dan suhu.

Selanjutnya, untuk mencari nilai $-\Delta H/R$ dan $\Delta S/R$ sesuai dengan Persamaan (11), maka dibuat grafik hubungan antara $\ln K_{eks}$ dengan $1/T$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8. Sesuai dengan Persamaan (11), dari Gambar 8 diperoleh nilai $-\Delta H/R = 2.556,1$ dan nilai $\Delta S/R = -11,67$. Dengan menggunakan nilai $R = 1,987 \text{ cal/gmol/K}$, maka diperoleh $\Delta H = -5.078,97 \text{ cal/gmol}$ dan $\Delta S = -23,18 \text{ cal/gmol/K}$. Dari ΔH yang bernilai negatif, dapat disimpulkan bahwa ekstraksi reaktif antara Cu dengan LIX 84-I dalam kerosin bersifat eksotermis. Nilai ΔS mengalami penurunan karena pembentukan kompleks R_2Cu menyebabkan sistemnya menjadi lebih teratur atau lebih stabil. Persamaan yang menunjukkan pengaruh suhu terhadap nilai K_{eks} adalah sebagai berikut:

$$\ln K_{eks} = \frac{2.556,1}{T} - 11,67 \quad (12)$$

Untuk mengecek penyimpangan nilai K_{eks} sebagai fungsi suhu yang diperoleh dengan Persamaan (12) dengan nilai K_{eks} data percobaan maka dibuat perbandingan nilai K_{eks} seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Dari Tabel 4 didapatkan kesalahan relatif rerata nilai $\ln K_{eks}$ Persamaan (12) terhadap nilai $\ln K_{eks}$ data percobaan sebesar 5,1%.



Gambar 8. Hubungan antara $\ln K_{eks}$ dengan $1/T$.

Tabel 4. Data perbandingan $\ln K_{eks}$ data dengan $\ln K_{eks}$ dari Persamaan (12).

T (K)	1/T (K ⁻¹)	ln K _{eks} data	ln K _{eks} Pers. (12)	Kesalahan relatif (%)
283	0,0035	2,6283	2,6338	0,2088
293	0,0034	3,1274	2,9421	5,9250
300	0,0033	2,9031	3,1457	8,3566
308	0,0032	3,5818	3,3670	5,9970

5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Makin tinggi konsentrasi umpan, nilai koefisien distribusi (D) semakin rendah.
2. Makin tinggi suhu ekstraksi (T), nilai koefisien distribusi (D) dan nilai konstanta kesetimbangan (K_{eks}) makin rendah.
3. Hubungan nilai konstanta ekstraksi dengan suhu mengikuti persamaan $\ln K_{eks} = 2.556,1 (1/T) - 11,67$ dengan kesalahan relatif rerata sebesar 5,1%.
4. Nilai ΔH dan ΔS masing-masing adalah $-556,1 \text{ cal/gmol}$ dan $-11,67 \text{ cal/gmol/K}$.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian UGM atas biaya yang diberikan untuk pelaksanaan penelitian ini melalui DIKS UGM Nomor Kontrak: 2323b/P.II/Set.R/2004 tanggal 1 Mei 2004. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Untung Budiman (Laboratorium Teknologi Kimia Umum, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik UGM) atas bantuannya selama pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Lambang

D	= koefisien distribusi untuk ion Cu^{2+} ($= \frac{[\text{CuR}_2]}{[\text{Cu}^{2+}]}$), -
H	= entalphy, cal/gmol
$[\text{CuR}_2]$	= konsentrasi kompleks Cu di fasa air, ppm atau gmol/dm^3
$[\overline{\text{CuR}_2}]$	= konsentsai kompleks Cu di fasa kerosin, ppm atau gmol/dm^3
$[\text{Cu}^{2+}]_o$	= konsentrasi ion Cu awal pada larutan umpan, ppm atau gmol/dm^3
$[\text{Cu}^{2+}]_A$	= konsentrasi ion Cu akhir pada fasa air, ppm atau gmol/dm^3
$[\text{Cu}^{2+}]_K$	= konsentrasi ion Cu pada fasa kerosin, ppm atau gmol/dm^3
K_{chel}	= tetapan distribusi <i>chelate</i> dari fasa air ke fasa kerosin, -
K_{diso}	= tetapan disosiasi LIX 84-I pada fasa air, mol/dm^3
K_{dist}	= tetapan distribusi monomer LIX 84-I dari fasa kerosin ke fasa air, -
K_{eks}	= tetapan ekstraksi berdasarkan ion Cu^{2+} ($= D \left[\frac{H^+}{RH} \right]^2$), -
K_{pemb}	= tetapan pembentukan <i>chelate</i> pada fasa air, $\text{dm}^6/\text{gmol}^2$
$[RH]$	= konsentrasi LIX 84-I di fasa air, gmol/dm^3
$[\overline{RH}]$	= konsentrasi LIX 84-I di fasa kerosin, ppm atau gmol/dm^3
R	= tetapan gas umum, 1,987 cal/gmol/K
S	= entrophy, cal/gmol/K
V_o	= volume awal larutan umpan, cm^3
V_A	= volume akhir fasa air, cm^3
V_K	= volume akhir fasa kerosin, cm^3

Daftar Pustaka

- Ban, T., Kawaizumi, F., Nii, S., and Takahashi, K., 2001, Use of HLB Values for Prediction of Drop Coalescence Behavior in Liquid-liquid Extraction System Containing Industrial Extractant, *J. Chem. Eng. Japan*, 34 (11), 1461-1465.
- Drum, D.A., Bauman, S.L., and Shugar, G.J., 2001, *Environmental Field Testing and Analysis Ready Reference Handbook*, McGraw-Hill, Inc., NY.
- Hanson, C., 1971, Recent Advances in Liquid-liquid Extraction, Pergamon Press, NY.
- Komasawa, I., Otake, T., and Maruoka, T., 1980a, Extraction Kinetic of Copper with Hydroxyoxyme Extractant, *J. Chem. Eng. Japan*, 13 (3), 204-208.
- Komasawa, I., Otake, T., and Yamada, A., 1980b, Equilibrium Studies of Copper Extraction from Sulphate Media with Hidroxyoxyme Extractant, *J. Chem. Eng. Japan*, 13 (2), 130-136.
- Mulyono, P., Yusdy, dan Kurniawan, N., 2004, Kesetimbangan Cair-cair pada Ekstraksi Cu dalam Air dengan LIX 84-I dalam Kerosin, *Forum Teknik*, 28(1), 37-46.
- Nakashio, F., 1993, Recent Advances in Separation of Metals by Liquid Surfactant Membranes, *J. Chem. Eng. Japan*, 26 (2), 123-133.
- Rachmawati, Y., 2002, Studi Kesetimbangan Ekstraksi Cu dalam Air dengan Tri Buthyl Phosphate (TBP) dalam Kerosin, Laporan Penelitian, Jurusan Teknik Kimia, FT UGM.
- Tamada, J.A. and King, C.J., 1990, Extraction of Carboxylic Acids with Amine Extractants. 3. Effect of Temperature, Water Coextraction, and Process Considerations, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 29, 1333-1338.
- Tani, K., Ohta, T., Nii, S., and Takahashi, K., 1998, Copper Removal from Dilute Aqueous Solution by Extraction with Counter-Current Multi-Stage Column, *J. Chem. Eng. Japan*, 31 (3), 398-406.

Tanigaki, M., Iwai, Y., Yamamoto, T., Mori, Y., and Gu, Z., 1994, *Waste Water Treatment by Electrostatic Pseudo Liquid Membrane*, Regional Symposium on Chemical

Engineering: Basic Aspects and Applications in Energy and Environmental Technology, Manila, ET1-1 to ET1-7.